

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH TABLETOVACÍHO LISU**

DESIGN OF A TABLET PRESS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Zbyněk Nečas**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Dominik Hermanský**

**BRNO 2021**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Zbyněk Nečas**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Dominik Hermanský**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Konstrukční návrh tabletovacího lisu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tabletovací lis je nejdůležitější technologickou komponentou v procese výroby tablet ve farmaceutickém průmyslu. Hlavními parametry lisu jsou počet vyrobených tablet za jednotku času a tlaková síla lisu. Tabletovací lisy jsou konstruovány vždy na míru podle přesně stanovených požadavků zákazníka.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti tabletovacích lisů.  
Zhodnocení aktuálního stavu poznání.  
Konstrukční návrh zadaných skupin lisu.  
Analýza a vyhodnocení navrhovaného řešení.  
CAD model, výkres hlavní sestavy, kusovník a min. 2 výrobní výkresy.  
Závěry a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

MEDEK, Jaroslav. Mechanické pochody. Vyd. 3. přeprac. Brno: PC-DIR, 1998. ISBN 80-214-1264-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování vlastního konstrukčního návrhu tabletovacího lisu pro farmaceutický průmysl, včetně vybraných výrobních výkresů, výkresu sestavy a modelů v 3D modeláři. V úvodní části se práce zabývá rešerší v oblasti tabletovacích lisů a následným zhodnocením současného stavu poznání. Dále práce obsahuje návrhové výpočty nutné ke konstrukci tohoto stroje a rozpravu pojednávající o částech výsledného návrhu. Na závěr byly vyhodnoceny výsledné parametry konstrukčního řešení a možné doporučení pro praxi.

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor's thesis was to develop your own design of a tablet press for the pharmaceutical industry, including selected production drawings, assembly drawings and models in a 3D modeler. In the introductory part, the thesis deals with a search in the field of tablet presses and the subsequent evaluation of the current state of knowledge. Furthermore, the work contains design calculations necessary for the construction of this machine and a discussion of parts of the final design. Finally, the resulting parameters of the design solution and possible recommendations for practice are evaluated.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

tabletovací lis, rotační lis, lisování tablet, konstrukční návrh

## **KEYWORDS**

tablet press, rotary press, tablet compression, construction design



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NEČAS, Zbyněk. *Konstrukční návrh tabletovacího lisu*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133042>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Dominik Hermanský.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Dominikovi Hermanskému za ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi značně pomáhali při tvorbě. Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině a nejbližším za projevenou důvěru a plnou podporu během celého studia.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Dominika Hermanského a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15.5.2021

.....

Zbyněk Nečas



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>TABLETOVACÍ LIS .....</b>	<b>17</b>
1.1	Požadavky na tabletovací lis .....	17
1.2	Rozdělení tabletovacích lisů .....	18
1.2.1	Výstředníkové lisy .....	18
1.2.2	Rotační lisy .....	19
1.3	Princip funkce .....	20
<b>2</b>	<b>TVORBA TABLET.....</b>	<b>23</b>
2.1	Energetická analýza lisování tablety .....	24
2.1.1	Metoda síla-dráha .....	25
2.1.2	Metoda Stresové relaxace .....	26
<b>3</b>	<b>SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....</b>	<b>27</b>
3.1	Typy nástrojů .....	27
3.2	Parametry tabletovacích lisů .....	28
<b>3</b>	<b>KONSTRUKČNÍ OPTIMALIZACE LISU.....</b>	<b>29</b>
3.1	Kontrola nosných tyčí .....	29
3.2	Kontrola razníku .....	31
3.3	Výpočet uložení kompresního válce .....	32
3.4	Návrh pohonu .....	35
3.5	Kontrola hřídele .....	35
<b>4</b>	<b>VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH .....</b>	<b>39</b>
4.1	Celková sestava.....	39
4.2	Návrh nástroje.....	40
4.3	Návrh rotoru.....	40
4.4	Návrh vačkových drah .....	41
4.5	Nosná konstrukce.....	42
4.6	Ostatní komponenty .....	43
4.7	Analýza a vyhodnocení navrhovaného řešení .....	44
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>49</b>
7.1	Seznam tabulek .....	49
7.2	Seznam obrázků .....	50
7.3	Seznam zkratk .....	51
7.4	Seznam symbolů .....	52
<b>8</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>57</b>



# 1 ÚVOD

Pro mnohé z nás je výroba tablet nedílnou součástí fungování v životě. Tablety slouží jako prostředek k podávání různorodých látek do těla. Může se jednat jak o látky léčivé, tak pouze o doplňky stravy. Momentální úroveň zdravotnictví je natolik vysoká, že dokáže žijící populaci usnadňovat každodenní aktivity, nebo se naopak chránit se před vlivy vnějšího okolí, v některých případech může dokonce pomoci s prodloužením života. Tabletovací lisy hrají nejdůležitější roli v procesu výroby tablet ve farmaceutickém průmyslu. Z předmixovaných tabletovacích směsí formují tabletu až do její výsledné podoby. Rozmanité druhy a tvary tablet mohou sloužit také jako určitá forma originality mezi konkurencí.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit vlastní konstrukční návrh rotačního tabletovacího lisu, a to dle zadaných parametrů. První část práce zahrnuje rešerši v oblasti lisování tablet a pojednává o funkcích, rozděleních, výhodách a nevýhodách tabletovacích lisů. Dále je shrnut a nastíněn současný stav poznání, včetně srovnání vybraných typů lisů. Ve druhé části je rozebrán výpočtový návrh vybraných součástí a zhodnocení celého návrhu.





## 2 TABLETOVACÍ LIS

Farmaceutický průmysl neboli farmacie je považován za jeden z nejdynamičtějších oborů vyspělých ekonomik. Úzce souvisí s chemickým průmyslem a spolu s ním je také označován za takzvaný high-tech průmyslový obor.[1] K těmto oborům neodmyslitelně patří také specializované stroje a přístroje, jako je právě tabletovací lis. Tabletovací lis je elektro mechanické zařízení, které stlačováním a lisováním přeměňuje prášek na tablety různých léčiv, doplňků stravy či kosmetiky. K tomuto procesu využívá kompresní sílu, pomocí které formuje tablety do různých tvarů a velikostí.[2]



Obrázek 1 Tabletovací lis[2]

### 1.1 Požadavky na tabletovací lis

Tabletovací lisy jsou velmi specifické stroje a jelikož se využívají také ve farmaceutickém průmyslu, musí proto jejich konstrukce splňovat určité požadavky. Tyto požadavky upravují normy TSM tedy Tooling Specification Manual, které jsou uznávané především ve Spojených státech amerických a také Euro standardy, což jsou mezinárodně uznávané standardy, které jsou široce používané právě pro tabletování. Dalším požadavkem je dodržování zásad správné výrobní praxe označovaným jako GMP, anglicky Good manufacturing practises. Tento soubor postupů byl vytvořen, aby hlídal dodržování zásad bezpečnosti v dodavatelském řetězci výroby a prodeje potravin, nápojů, kosmetiky, farmaceutických výrobků, potravinových doplňků a zdravotnických prostředků.[2][3]

Normalizace strojů, zejména pak nástrojů, se zavedla především kvůli minimalizaci počtu náhradních dílů, také proto byla norma EU aktualizována, aby byla v souladu s normou ISO a tím byla umožněna zaměnitelnost jednotlivých dílů mezi různými tabletovacími lisy. Tyto parametry popisuje norma ISO 18084.[4]

## 1.2 Rozdělení tabletovacích lisů

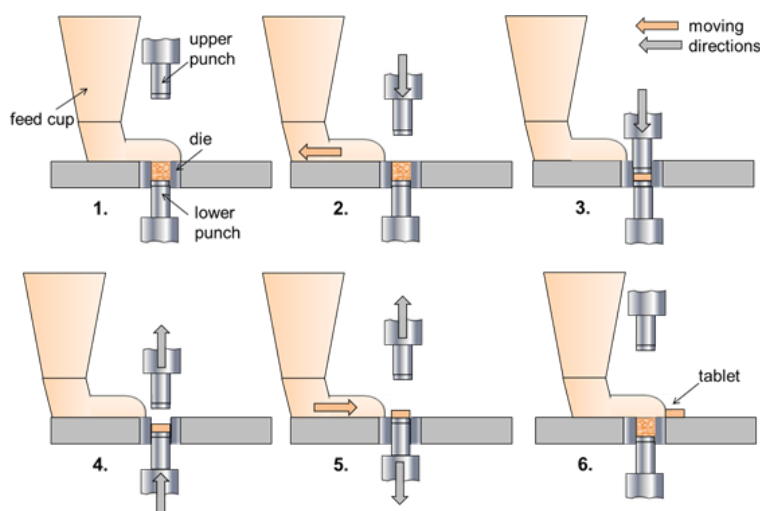
Tabletovací lisy obecně dělíme na dvě skupiny podle počtu lisovacích matic. Existují lisy jedno maticové a více maticové, které se liší jak konstrukcí, tak objemem produkce[5].

### 1.2.1 Výstředníkové lisy

První skupinou jsou výstředníkové tabletovací lisy, ty se také nazývají jako excentrické lisy nebo lisy s jednou maticí. U tohoto typu lisů je tlaková síla způsobována pouze horním razníkem, zatímco spodní razník je statický. Jejich jednodušší konstrukce je pochopitelně doprovázena nižší výrobní kapacitou. Proto nejsou vhodné pro velkovýrobu a využívají se tak spíše pro vývoj, výzkum nebo produkci nižšího množství tablet. Tyto lisy existují s ručním nebo plně automatizovaným, volitelným PLC řízením[5].

Hlavní výhody výstředníkových lisů[2]:

- Malá konstrukce
- Snadné ovládání
- Vysoký poměr využití
- Nízká hlučnost
- Cost efektivita



Obrázek 2 Operační cyklus výstředníkového lisu [6]

Na předchozím obrázku lze vidět jednotlivé pracovní fáze výstředníkového lisu a popsané jeho hlavní části.

Základní části výstředníkového lisu:

- násypka – část stroje, která slouží k plnění materiálu, který má být komprimován do tablety. Podle konstrukce může být plněna ručně, nebo pomocí automatizovaných prostředků.
- lisovací matrice – dutina, ve které se prášek lisováním mění na tabletu, její rozměry tak udávají také všechny rozměry a tvary výsledné tablety.

- Horní a spodní razník – dva proti sobě postavené lisovací nástroje, které tlakem lisují prášek na tabletu. Můžou být individuálně tvarované, dle požadavků na výsledný tvar tablety.[2][3]



Obrázek 3 Lisovací nástroj[7]

### 1.2.2 Rotační lisy

Druhou skupinou jsou rotační tabletovací lisy, ty jsou také nazývány jako stroje na výrobu tablet s více stanicemi. Tento typ je výhodný zejména vysokou výrobní kapacitou a úsporou nákladů, a proto se hodí pro velkovýrobu tablet. Rotační lis je konstrukčně podstatně složitější a je zpravidla plně automatizován[2].



Obrázek 4 Rotační lis RZ-17[8]

Tento typ lisu má celou sadu raznic umístěných svisle proti sobě. Počet raznic pak závisí na konstrukci stroje. Tyto raznice jsou seřazené do kruhovitěho tvaru, jelikož po celou dobu výrobního cyklu rotují. Oproti jednostanicovému lisu má rotační tabletovací lis komplexní konstrukci a strukturu. Hlava stroje tedy konstantní rychlostí rotuje a pevná vačková dráha zajišťuje pohyb razníků ve svislém směru[2].

Hlavní výhody rotačních lisů[2]:

- Vysoká výrobní kapacita
- Plná automatizace
- Možnost nezávislé regulace tvrdosti a hmotnosti
- Snížení plýtvání materiálem

Jak již bylo zmíněno, tak rotační lisy jsou oproti výstředníkovým mnohem složitější stroje. To samozřejmě znamená větší počet součástí, ze kterých se lis skládá. Zde jsou hlavní části rotačních lisů[5]:

Podavač krmiva – tato součást tlačí tabletovinu do matric a je nezbytná pro vysoké rychlosti plnění.

Váčkové dráhy – slouží k vedení pohybu horního a dolního razníku, aby byl zajištěn přesný pohyb.

Regulace výkonu – během fáze plnění regulátor kapacity nastavuje dolní dráhu děrování. Tím je zajištěno, že množství materiálu zůstane v přípustném rozsahu před stlačením.

Ejekční vačka – usnadňuje vyhazování tablet z dutiny formy.

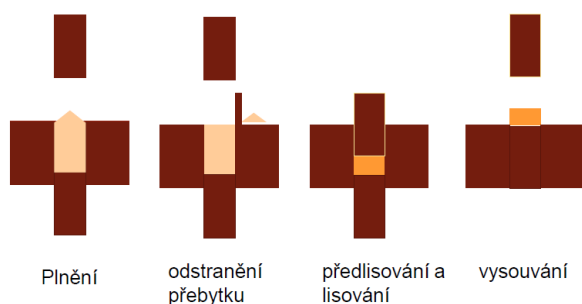
Odvodní přepážka – odvádí hotové tablety k vypouštěcímu korytu, po kterém se posléze přesouvají do sběrné nádoby.

### **1.3 Princip funkce**

Jak tabletovací lis funguje již bylo lehce nastíněno v předchozích kapitolách, nyní je však nutné si podrobněji rozebrat jednotlivé lisovací fáze. Samotné lisování tablety je u obou případů téměř stejné, hlavní rozdíly však spočívají především v rychlosti výroby.

Proces lisování tablety může být obecně popsán ve čtyřech fázích:

- 1.) Plnění
- 2.) Odstranění přebytku
- 3.) Komprese
- 4.) Vysunutí



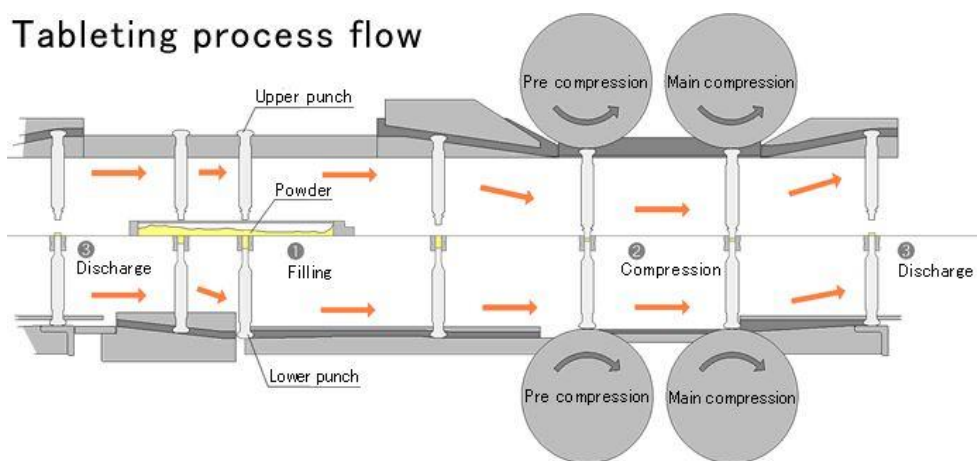
Obrázek 5 Lisovací fáze[7]

V první fázi se stroj začíná plnit materiálem, tedy tabletovinou či granulátem. Tento proces probíhá skrze násypku neboli feeding hooper. Poté co je materiál na svém místě se pomocí vačky spustí razníky, které sjedou do pozice pro plnění. Násypka pak naplní matrici připravenou na kompresní proces. Správně by se v matrici mělo nacházet více materiálu, než je její kapacita. Přebytečný materiál je odstraněn škrabkou a putuje do následující matrice[5].

Kompresní fáze začíná v momentě, kdy dávkovací jednotka zvedne spodní razníky do vhodné výšky. Horní vačka následně snižuje horní razníky, a to do doby, než jsou zasunuty do lisovací matrice.

Horní i spodní razníky jsou vedeny předlisovacím kompresním stupněm, při kterém bývají mírně zasunuty do matrice. Zde se odstraňuje přebytečný vzduch, který je pro lisování nežádoucí. Razníky poté přicházejí do styku s hlavními kompresními válci. Zde na ně působí již předem nastavený tlak, což vede k vylisování kompaktní a pevné tablety. Tableta má tedy přesně požadovanou výšku, hmotnost a velikost.[5]

V následující fázi probíhá proces vysunutí tablety. Zde horní vačka táhne horní razníky do jejich výchozí pozice. Dolní razníky se pohybují směrem nahoru, dokud hotovou tabletu nevytlačí z lisovací formy. Takto vylisované tablety se přesunují do vypouštěcího žlabu, kterým jsou dopravovány k následnému skladování. Tvary tablet mohou být různorodé a je zároveň důležité mít, pokud možno, co nejoriginálnější tvar tablet pro co největší eliminaci padělků. Na následujícím obrázku číslo 6 je celý tento proces znázorněn[5].

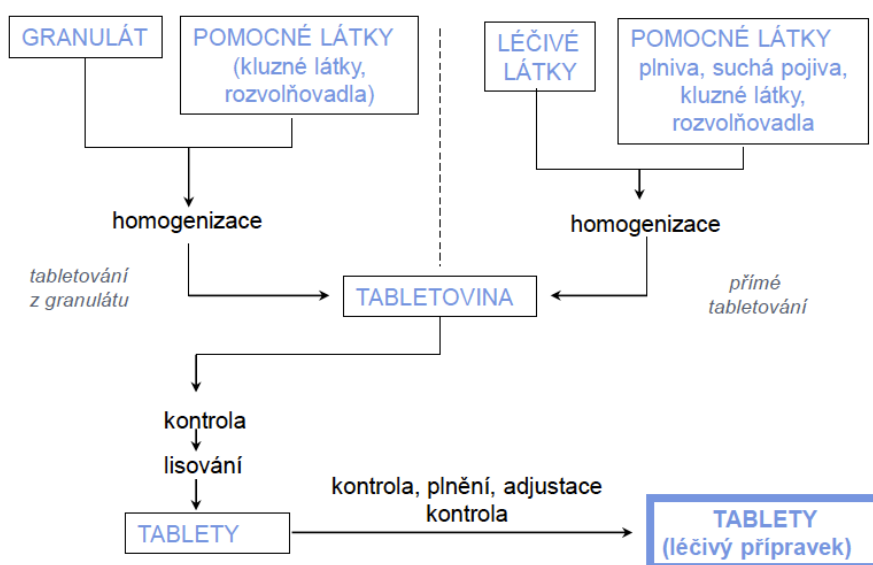


Obrázek 6 Proces Lisování rotačního lisu [2]



## 2 TVORBA TABLET

Tablety patří mezi perorální léčivé formy, to znamená, že jsou pacientům podávány ústy. Jak už bylo řečeno, tablety jsou z fyzikálního hlediska pevné výlisky, které vzniknou po slisování prášku nebo granulátu. Tablety tvoří látky účinné a látky pomocné, které jsou za různými účely do tablet přidávány. Některé pomocné látky se do tablet přidávají pouze kvůli výplni, protože množství účinné látky je tak malé, že bychom z něj jen těžko slisovali tabletu přijatelné velikosti. Jiné látky pak drží tabletu pohromadě, zajišťují její rozklad v organismu, nebo pomáhají při výrobním procesu. V principu jsou to však látky, které nemají žádný nežádoucí vliv na účinnost léků samotných[9]. Celý proces tvorby tablety je znázorněn na obrázku číslo 7.



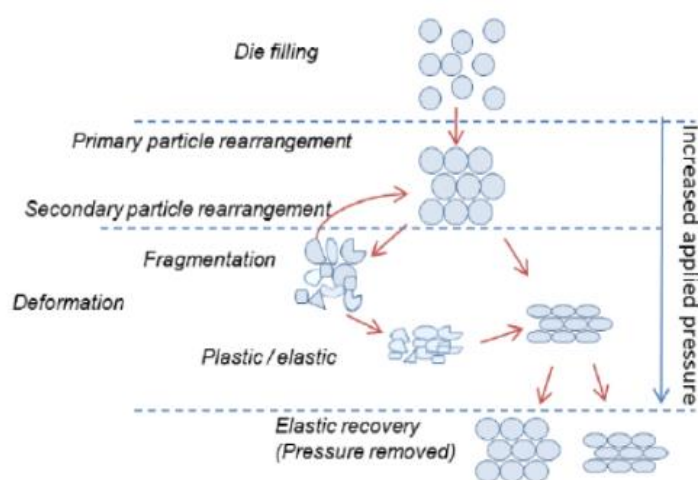
Obrázek 7 Schéma výroby tablet[7]

Pro výrobu tablet je nezbytně nutné použití kluzných látek, tyto látky najdeme ve složení každé tablety. Bez přidání takových látek by docházelo k lepení tabletové směsi na lisovací trny a následně po krátké době lisování k zastavení tabletovacího lisu. Tyto pomocné látky se absorbují do směsi tabletoviny, a to ve fázi přípravy směsi. Ve fázi násypu tabletové směsi z násypky do matrice snižují kluzné látky tření mezi částicemi navzájem a stěnou násypky. Díky snížení tření je zaručeno rovnoměrné plnění matrice tabletovací směsí a je zajištěna požadovaná hmotnostní a obsahová stejnoměrnost tablet. Ve fázi komprese tabletové směsi kluzné látky urychlují fázi předlisování, při které se vytlačuje vzduch z mezicásticových prostor. Dále zamezují přilepení lisovaných látek na lisovací trny a zajišťují odvod tepla z lisované tablety do lisovací matrice. V konečné fázi vysouvání tablety z matrice snižují tření mezi vysouvanou tabletou a matricí a zabráňují tak víčkování tablet. Jednou z nejvíce užívaných kluzných látek je Stearan hořečnatý.[10]

## 2.1 Energetická analýza lisování tablety

Tablety vznikají stlačováním částic nebo jejich shluků v tabletovacím lisu. Při tomto procesu působí na částice lisovací síla. Jednou z možností pochopení průběhu lisovacího procesu je proto studium energií, které jsou využívány při vzniku tablety.[11]

Vlastní lisování tablet je složitý proces, který probíhá ve dvou fázích, ve fázi komprese a fázi relaxace. Komprese zahrnuje předlisování, elastickou deformaci a plastickou deformaci. Při předlisování se z lisovaného materiálu vytlačuje vzduch z interpartikulárních pórů a povrchy částic se dostávají do přímého kontaktu. Při elastické deformaci se povrchy částic se do sebe reverzibilně vtlačují. Při snížení lisovací síly částice nabývají původní objem i tvar. Během plastické deformace dochází k fragmentaci částic a tvorbě vazeb mezi molekulami nebo částicemi. Tato deformace zajistí výsledné fyzikální vlastnosti lisovaných tablet, jedná se tedy o nevratný proces. Z hlediska použité energie je nejnáročnější fáze plastické deformace. [11]



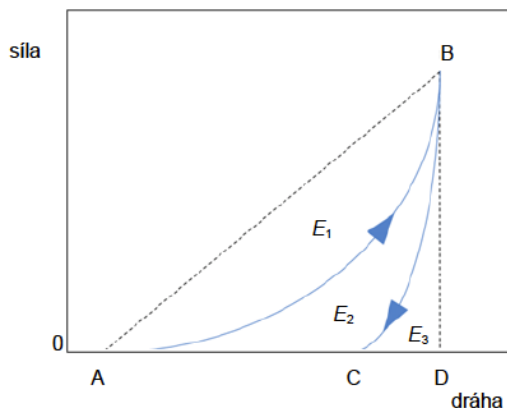
Obrázek 8 Deformace tabletoviny při lisování[7]

Ve druhé fázi lisovacího procesu můžeme pozorovat relaxaci tablety po ukončení působení lisovací síly. V této fázi dochází k nárůstu objemu tablety, eliminaci vytvořených vazeb a snižování pevnosti tablety. Při hodnocení lisovacího procesu pomocí energií se používá několik metod. Univerzální metoda vychází ze záznamu síla-dráha a hodnotí dvě fáze lisovacího procesu, kompresi a relaxaci tablety. Při metodě stresové relaxace se hodnotí pouze mezifáze mezi kompresí a relaxací tablet. U všech uvedených metod se hodnotí elastické a plastické vlastnosti tabletoviny a tablet. Získané parametry mají u jednotlivých metod rozdílný význam.[11]



### 2.1.1 Metoda síla-dráha

Starší metodou pro rozbor lisovacího procesu je výpočet energií ze záznamu síla-dráha. Při této metodě se tabletovina lisuje v matici pomocí lisovacích razníků, dokud není dosaženo předem určené kompresní síly. V momentu dosažení této kompresní síly se horní lisovací razník ihned odlehčí a kompresní síla klesá na nulovou hodnotu. Tento proces můžeme vyjádřit jako vztah kompresní síly a dráhy lisovacího razníku. Vzestupná větev AB vyjadřuje kompresi tabletoviny a sestupná větev BC relaxaci tablety. Potom se bod B spojí přímkami s body A, D a získají se tři plochy  $E_1$ ,  $E_2$  a  $E_3$ , které vyjadřují jednotlivé energie v Joulech.[11]



Obrázek 9 Schéma záznamu síla-dráha[11]

$E_1$  – energie předkomprese, spotřebované na tření mezi částicemi navzájem a mezi částicemi a stěnami matrice.

$E_2$  – plastická energie – energie akumulovaná v tabletě po skončení lisovacího procesu.

$E_3$  – elastická energie – energie uvolněná z tablety po skončení tabletovacího procesu.

$E_{lis}$  – energie fáze elastické a plastické deformace – energie spotřebovaná lisovaným materiálem ve fázi komprese, tedy součet  $E_2$  a  $E_3$ .

$E_{max}$  – součet energií  $E_1$ ,  $E_2$  a  $E_3$  – který vyjadřuje celkovou spotřebovanou energii během lisovacího cyklu

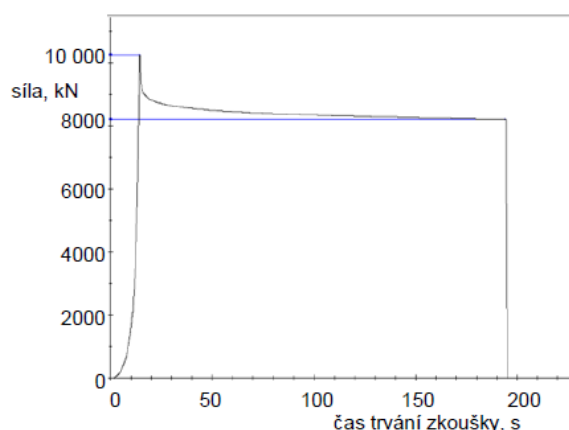
Ze základních energií  $E_1$ ,  $E_2$  a  $E_3$  se dále odvozuje faktor plasticity a faktor elasticity, což jsou pro praxi další velmi důležité parametry. Faktor plasticity, jednotlivé energie a celkový profil záznamu síla-dráha jsou využívány hlavně pro sledování vlastností jednotlivých lisovaných látek, jejich směsí a k porovnávání chování látek mezi sebou během celého procesu lisování. Z faktoru plasticity nebo elasticity můžeme zjišťovat schopnost deformace jednotlivých materiálů v závislosti na kompresním tlaku. Záznam síla-dráha může být dále

využit pro studium vlivu kluzných látek na proces lisování, na jednotlivé energie a na vlastnosti lisovaného materiálu.[11]

### 2.1.2 Metoda Stresové relaxace

Druhá metoda se nazývá, metoda stresové relaxace, při níž se tabletovina lisuje, dokud není dosažena požadovaná lisovací síla, poté se po určitou dobu konstantně udržuje postavení trnů a měří se pokles lisovací síly, jak lze vidět na obrázku číslo 10. Ze vzniklé křivky závislosti lisovací síly na čase se spočítá parametr elasticity, a parametr plasticity.[11]

Test stresové relaxace je využíván v mnoha rozličných průmyslových odvětvích.



Obrázek 10 Schéma záznamu stanovení stresové relaxace[11]

V potravinářství byla tato metoda použita pro posouzení viskoelastických vlastností různých kultivarů brambor, nebo pro zjišťování viskoelastického chování potravin s různou strukturou a složením. V oblasti zpracování kovů se využívá ke sledování mechanických vlastností materiálu, mikrostrukturálního mechanismu zvyšování kujnosti nebo sledování deformace materiálu při změně teploty. Ve farmacii je test stresové relaxace využíván k charakterizaci viskoelastických vlastností různých látek nebo jejich směsí. Lze sledovat i působení různých faktorů ovlivňujících lisovací proces, jako je typ a množství použité kluzné látky, vlhkost nebo velikost částic lisovaného materiálu.[11]

### 3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

V dnešní době se technologie zlepšují a vyvíjejí mílovými kroky. V následující kapitole budou shrnuty hlavní parametry tabletovacích lisů současnosti. Mezi přední výrobce tabletovacích lisů můžeme zařadit například firmy jako jsou Fette Compacting, IMA, Romaco Kilian nebo Bosch.

Jak již bylo zmíněno, rozměry lisovacích nástrojů upravují normy TSM a EU. Podle těchto norem se konfigurace nástrojů liší na základě délky razníku či tloušťky hlavy. Dále pak mohou existovat drobné odchylky jako je například velikost a orientace drážky, takové odchylky však nebrání zaměnitelnosti nástrojů ani pro ně nejsou škodlivé[4].

Rozdíly mezi konfigurací nástrojů TSM a EU[4]:

- Ve standardech TSM je spouštěcí délka o 0,01 palce kratší než u normy EU
- Oba typy nástrojů B a D mají v nástrojovém systému EU menší tloušťku hlavy než ve specifikaci TSM
- V TSM standardu mají děrovací hlavy šikmý horní profil, zatímco ve standardu EU mají profil klenutý
- Například nástroj typu B má v EU vnitřní úhel hlavy pro razníky 30°, zatímco ve specifikacích TSM je tento úhel 37°

#### 3.1 Typy nástrojů

Sada nástrojů pro tabletování obsahuje matici a dva razníky, na základě výše zmíněných norem rozeznáváme dvě třídy nástrojů B a D. Jednotlivé konfigurace nástrojů se od sebe rozlišují jak tvarem, tak pevností. Zde je přehled jednotlivých konfigurací nástrojů:

B nástroje:

Nástrojová konfigurace B má průměr razníku 19 mm. Typy B mohou být použity se dvěma typy matic. Jejich matrice o průměru 30,16 mm je však vhodná pro všechny běžné velikosti tablet.

D nástroje:

Nástrojová konfigurace D se používá pro větší lisovací síly než typ B a má proto také větší průměr razníku, a to 25,35 mm. Průměr matrice je potom 38,1 mm. Hodí se pro výrobu tablet o maximálním průměru či délce 25,35 mm.

BB nástroje:

Nástroje konfigurace BB jsou obdobné typu B s průměrem razníku 19 mm, používají však matici o průměru 24 mm. Bývají používány pro průměry tablet od 9 do 11 mm. Dalším rozdílem je pak kratší délka spodního razníku.

DB nástroje:

U typu DB je průměr a délka razníku obdobná jako u typu D, avšak průměr matrice se u typu DB používá stejný jako u typu B, tedy 30,16 mm.

Rotační tabletovací lisy mohou díky svojí konstrukci používat jak nástroje typu B, tak nástroje typu D, avšak nikoliv jejich kombinace. Kompresní síla se odvíjí od typu použitého nástroje[4].

### 3.2 Parametry tabletovacích lisů

V této kapitole budou přiblíženy právě rotační tabletovací lisy, jelikož ty jsou zpravidla automatizované, a proto jsou jejich parametry lépe změřitelné, a tak i více vypovídající.

Parametry tabletovacích lisů jsou poměrně dost různorodé, jelikož se tyto stroje často navrhuje a vyrábí na zakázku, přímo pro zákazníka a pro předem definovanou výrobu. Hlavní konstrukční parametry, kterými se od sebe lisy jednotlivých výrobců rozlišují a jsou pro budoucího zákazníka udávající, je zejména kompresní síla, počet vyprodukovaných tablet za hodinu, který úměrně souvisí s počtem lisovacích stanic a výkonem pohonné jednotky. Dále je také důležitý rozměr celé sestavy stroje, pořizovací cena, a v neposlední řadě také maximální rozměr tablety, kterou je stroj schopen vytisknout[4].

*Tabulka 1 srovnání rotačních lisů s nástroji typu D [12][13][14]*

Výrobce	Fette Compacting	IMA	Romaco Kilian
Model	FE 35	Prexima 300	KTP 420X
Maximální lisovací síla	80 kN	100kN	100kN
Počet stanic	27	27	30
Maximální počet vyprodukovaných tablet za hodinu	145 800 ks/h	194 400 ks/h	198 000 ks/h
Velikost roztečné kružnice	325 mm	380 mm	–
Maximální průměr tablety	25 mm	25 mm	25 mm

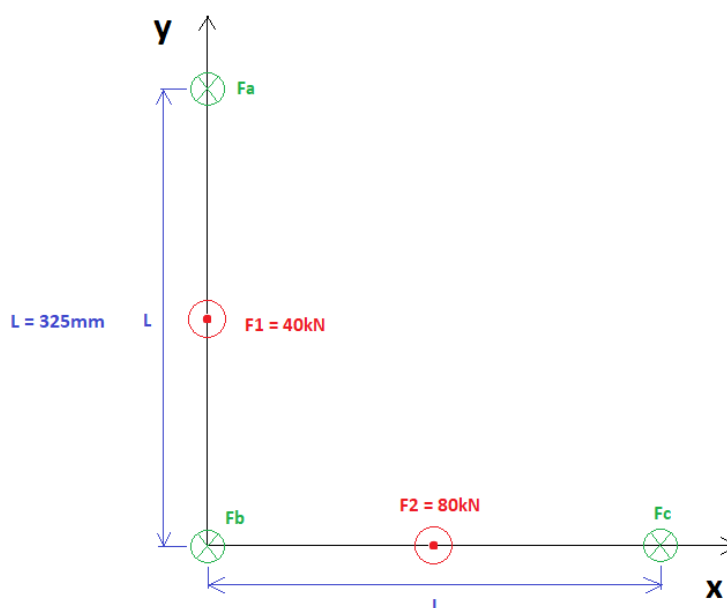
### 3 KONSTRUKČNÍ OPTIMALIZACE LISU

Hlavním cílem této bakalářské práce je vlastní konstrukční návrh rotačního tabletovacího lisu. Proto je nejprve nutné se pozastavit nad optimalizací jednotlivých součástí. Hlavními požadavky na lis jsou maximální lisovací síla a objemová produkce tablet. Zadání maximální kompresní síly vycházelo ze zjištění prezentovaných v kapitole 3. Konkrétně byl tento návrh inspirován rotačním tabletovacím lisem jednoho z předních výrobců, Fette Compacting a to modelem FE35. Dle parametrů výrobce je udávána maximální kompresní síla  $F_{\max}=80\text{kN}$  a maximální objemová produkce tablet až 145 800 ks/h.

Při samotném konstrukčním návrhu je potřeba se věnovat komponentám, které jsou podrobovány největším zatížením. Tyto rizikové komponenty budou rozebrány a navrženy na základě konstrukčních výpočtů v následující kapitole. Z principu funkce lisu bylo možné si vytipovat součásti nejvíce náchylné k deformaci či úplnému selhání.

#### 3.1 Kontrola nosných tyčí

Jako první rizikové místo byla vyhodnocena nosná konstrukce, která musí odolávat vysokým kompresním silám a musí držet celý stroj pohromadě. Bylo tedy nutné nejprve zkontrolovat tuhost celé konstrukce a zvolit průměry nosných tyčí se závitem. Byla tedy provedena kontrola na tah a následně zvolen závit, který odolá zadané kompresní síle.



Obrázek 11 Schéma působení sil

**Výpočet síly:**

$$\sum F_z = 0 : F_1 + F_2 - F_A - F_B - F_C = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_y = 0 : -F_2 \cdot \frac{L}{2} + F_C \cdot L = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma M_x = 0 : F_1 \cdot \frac{L}{2} - F_A \cdot L = 0 \quad (3)$$

$$F_A = \frac{F_1}{2} \quad (4)$$

$$F_B = \frac{F_1}{2} + \frac{F_2}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (5)$$

$$F_C = \frac{F_2}{2} \quad (6)$$

$$F_A = 20\,000\,N$$

$$F_B = 60\,000\,N$$

$$F_C = 40\,000\,N$$

$$\sigma_{tk} = 600\,MPa$$

$$F_{tmax} = F_B = 60\,000\,N \quad (7)$$

Z provedených výpočtů byla zjištěna maximální síla působící v nosné tyči, se kterou můžeme dále počítat.

### Výpočet odsazení

$$d_t = 30\,mm$$

$$D_t = 40\,mm$$

$$\sigma_{tnom} = \frac{F_{tmax}}{S_t} = \frac{F_{tmax}}{\frac{\pi \cdot d_t^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{tmax}}{\pi \cdot d_t^2} = 84,9\,MPa \quad (8)$$

$$\frac{D_t}{d_t} = 1,3 \quad (9)$$

$$\frac{r_t}{d_r} = \frac{3}{30} = 0,1 \quad (10)$$

Koeficient  $\alpha$  zvolen dle [15].

$$\alpha_t = 1,72$$

$$\sigma_{tex} = \alpha_t \cdot \sigma_{tnom} = 146\,MPa \quad (11)$$

$$k_{tk} = \frac{\sigma_{tk}}{\sigma_{tex}} = 4,1 \quad (12)$$

### Výpočet závitů M30:

$$\sigma_{t30max} = \frac{F_{tmax}}{S_{t30}} = \frac{F_{tmax}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{tmax}}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 60\,000}{\pi \cdot 27,546^2} = 100,68\,MPa \quad (13)$$

$$k_{t30k} = \frac{\sigma_{tk}}{\sigma_{t30max}} = 5,959 \quad (14)$$

Na základě výpočtů bylo zjištěno, že závit M30 splňuje bezpečnost a může být použit.



Obrázek 12 Nosná tyč

### 3.2 Kontrola razníku

Další rizikovou součástí byl vyhodnocen razník, který musí zvládat vysoké zatížení kompresní silou až 80kN. Proto jako jeho materiál byla zvolena zušlechtěná ocel 16 341.8, která se vyznačuje vysokou mezí kluzu. Razník musel být kontrolován na mezní stav vzpěrné stability.

Dle rovnic 15 a 16 lze zjistit štíhlostní poměr pro náš průměr [15]. Dále se z rovnic 17 a 18 vypočte kritická síla v prutu, závislá na mezi kluzu od materiálu[15]. Z rovnice 19 je možné zjistit že bezpečnost vychází 2,26, což je naprosto dostačující.

$d_r = 14 \text{ mm}$  – nejmenší průměr razníku

$l_r = 61 \text{ mm}$  – délka razníku namáhaná na vzpěr

$F_r = 80\,000 \text{ N}$  – zatěžující síla

$E = 200\,000 \text{ MPa}$  – modul pružnosti v tahu

$R_{er} = 1222 \text{ MPa}$  – mez kluzu – ocel 16 341.8 zušlechtěná

$\alpha_r = 1,2$  – součinitel pro uložení vetknutí – kloub dle [15]

$\frac{l}{i}$  - štíhlostní poměr

$$S_r = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4} = 153,94 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

$$\frac{l}{i} = \frac{l_r}{\left(\frac{d_r}{4}\right)} = 17,429 \quad (15)$$

$$\left(\frac{l}{i}\right)_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_r \cdot E}{R_{er}}} = 62,264 \quad (16)$$

$$\frac{l}{i} < \left(\frac{l}{i}\right)_1 \quad (\text{počítáno pro prut střední délky})$$

$$\frac{F_{rkrit}}{S_r} = R_{er} - \left(\frac{R_{er}}{2\pi} \cdot \frac{l}{i}\right)^2 \cdot \frac{1}{\alpha_r \cdot E} \quad (17)$$

$$F_{rkrit} = S_r \cdot \left(R_{er} - \left(\frac{R_{er}}{2\pi} \cdot \frac{l}{i}\right)^2 \cdot \frac{1}{\alpha_r \cdot E}\right) = 180\,743\,N \quad (18)$$

$$k_r = \frac{F_{rkrit}}{F_r} = 2,26 \quad (19)$$



Obrázek 13 Soustava nástrojů tabletovacího lisu

### 3.3 Výpočet uložení kompresního válce

Jako materiál čepu byla kvůli vysokému tlaku zvolena ocel 14 220.4, která je vhodná k cementování a kalení. Průměr čepu, který zvládne toto zatížení, byl na základě následných výpočtů zvolen 50 mm.

$x_{\check{c}} = 28,5\,mm$  – vzdálenost od středu ložiska do středu čepu

$F_{\check{c}1} = 40\,000\,N$  – radiální síla v ložisku

$d_{\check{c}} = 50\,mm$  – průměr čepu

Materiál: ocel 14 220.4 – kalená

$R_{e\check{c}} = 440\,MPa$  – mez kluzu

$R_{m\check{c}} = 640\,MPa$  – mez pevnosti

**Výpočet pro statické zatížení:**

$$M_{\check{c}o} = x_{\check{c}} \cdot F_{\check{c}1} = 1\,140\,000\,Nmm \quad (20)$$



$$\sigma_{\check{c}o} = \frac{32 \cdot M_{o\check{c}}}{\pi \cdot d_{\check{c}}^3} = 92,896 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\tau_{\check{c}s} = \frac{4}{3} \cdot \frac{4 \cdot F_{\check{c}1}}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2} = 27,162 \text{ MPa} \quad (22)$$

$$\sigma_{\check{c}red} = \sqrt{\sigma_{\check{c}o}^2 + 4 \cdot \tau_{\check{c}s}^2} = 107,61 \text{ MPa} \quad (23)$$

$$k_{\check{c}k} = \frac{R_{e\check{c}}}{\sigma_{\check{c}red}} = 4,09 \quad (24)$$

Z výpočtů vyšla bezpečnost pro tento průměr čepu lehce přes 4, což je pro čep více než dostačující. Dále musela být brána v potaz také únava materiálu.

#### Výpočet pro únavu materiálu:

$$\sigma_{\check{c}c} = 0.504 \cdot R_{m\check{c}} = 322,56 \text{ MPa} \quad (25)$$

#### Marinova rovnice:

$$\sigma'_{\check{c}c} = k_{\check{c}a} \cdot k_{\check{c}b} \cdot k_{\check{c}c} \cdot k_{\check{c}d} \cdot k_{\check{c}e} \cdot k_{\check{c}f} \cdot \sigma_{\check{c}c} = 239,53 \text{ MPa} \quad (26)$$

Koeficienty zvoleny dle [15]:

$$a_{\check{c}} = 1,58$$

$$b_{\check{c}} = -0,085$$

$$k_{\check{c}a} = a_{\check{c}} \cdot R_{m\check{c}}^{b_{\check{c}}}$$

$$k_{\check{c}b} = 1 - \text{střídavý tah-tlak}$$

$$k_{\check{c}c} = 1 - \text{ohyb}$$

$$k_{\check{c}d} = 1 - \text{teplota při } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

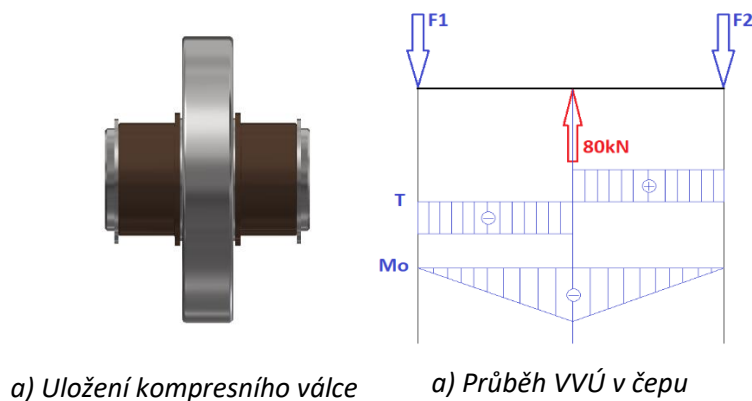
$$k_{\check{c}e} = 0,814 - 99\% \text{ spolehlivost}$$

$$k_{\check{c}f} = 1 - \text{další vlivy}$$

$$\sigma_{\check{c}a} = \sigma_{\check{c}o} = 92,896 \quad (27)$$

$$k_{\check{c}c} = \frac{\sigma'_{\check{c}c}}{\sigma_{\check{c}a}} = 2,59 \quad (28)$$

Zde bylo pomocí rovnice amplitudy zatěžování zjištěno, že bezpečnost vůči meznímu stavu únavy je 2,59, což je opět v rámci této konstrukce přijatelné.



Obrázek 14 Detail uložení čepu

### Výpočet ložiska:

Poslední namáhanou komponentou v uložení kompresního válce je kluzné ložisko od firmy SKF, které umožňuje volné otáčení kompresního válce. To bylo opět zvoleno na základě výpočtů zohledňujících zadané vstupní parametry z katalogu výrobce[16].

Ložisko SKF wrapped bronze PRMF 505530[16]

$$n_{lt} = 121 \text{ min}^{-1} - \text{otáčky turety}$$

$$B_l = 30 \text{ mm} - \text{délka ložiska}$$

$$n_l = 162,5/75 \cdot n_{lt} = 262 \text{ min}^{-1} \quad (29)$$

$$v_l = d_{\check{c}} \cdot \pi \cdot \frac{n_l}{1000 \cdot 60} = 0,69 \text{ m/s} \quad (30)$$

$$p_l = \frac{F_{\check{c}1}}{d_{\check{c}} \cdot B_l} = 26,67 \text{ MPa} \quad (31)$$

Dle rovnice 29 byly vypočteny otáčky ložiska a následně dle rovnic 30 a 31 uvedených v katalogu výrobce proběhl výpočet obvodové rychlosti a měrného zatížení ložiska. Na základě těchto výpočtů bylo zvoleno ložisko SKF wrapped bronze PRMF 505530, které dostatečně splňuje všechny požadavky.



Obrázek 15 Kluzné ložisko SKF PRMF 505530

### 3.4 Návrh pohonu

$i_r = 20$  – počet razníků

$n_t = 120 \text{ min}^{-1}$  – otáčky rotoru

$s_r = 3,31 \text{ mm} = 0,00331 \text{ m}$  – dráha razníku

$F_r = 80\,000 \text{ N}$  – lisovací síla

Na základě těchto parametrů byla z rovnice 32 vypočtena práce potřebná na jednu otáčku rotoru. Následně byl spočten potřebný výkon motoru dle rovnice 33.

$$W_{ot} = i_r \cdot F_r \cdot s_r = 5\,296 \text{ J} \quad (32)$$

$$P_m = \frac{W_{ot} \cdot n_t}{60} = 10\,592 \text{ W} \quad (33)$$

Dle těchto výpočtů byl jako nejvhodnější variantou vyhodnocen motor o nejbližším vyšším výkonu a to konkrétně 11 kW, od výrobce SEW Eurodrive, tedy třífázový převodový motor s označením S87DR-N160M4 a s výstupními otáčkami 121 ot/min.



Obrázek 16 Převodový elektromotor S87DR-N160M4

### 3.5 Kontrola hřídele

$P = 11\,000 \text{ W}$  – výkon motoru

$n = 121 \text{ min}^{-1}$  – otáčky rotoru

Výpočet krouticího momentu od motoru dle rovnice 34.

$$M_{hk} = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 1000 = 868\,117,9 \text{ Nmm} \quad (34)$$

$D_{h3} = 60 \text{ mm}$  – velký průměr hřídele sousedící s drážkováním

$d_h = 52 \text{ mm}$  – malý průměr drážkování

$r_h = 1 \text{ mm}$  – poloměr vrubu na změně průřezu hřídele

Zvolena ocel 15260.6 dle [17].

$R_{eh} = 590 \text{ MPa}$  – mez kluzu

$R_{mh} = 785 \text{ MPa}$  – mez pevnosti

**Pevnostní výpočet:**

$$\tau_{hmax} = 16 \cdot \frac{M_{hk}}{\pi \cdot d_h^3} = 45,423 \text{ MPa} \quad (35)$$

$$\tau_{hk} = \frac{R_{eh}}{2} = 295 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$k_{hk} = \frac{\tau_{hk}}{\tau_{hmax}} = 6,5 \quad (37)$$

**Výpočet únavy materiálu:**

$$\sigma_{hc} = 0,504 \cdot R_{mh} = 395,64 \text{ MPa} \quad (38)$$

Koeficienty zvoleny dle [15].

$$a_h = 4,51$$

$$b_h = -0,265$$

Koeficienty a, b jsou zvoleny pro povrch dokončený obráběním dle [15].

$$k_{ha} = a_h \cdot R_{mh}^{b_h}$$

$$k_{hb} = 1,24 \cdot d_h^{(-0,107)} \text{ – pro průměr mezi 2.79 a 51 mm}$$

$$k_{hc} = 0,59 \text{ – krut}$$

$$k_{hd} = 1 \text{ – teplota } 20^\circ\text{C}$$

$$k_{he} = 0,814 \text{ – 99\% spolehlivost}$$

$$k_{hf} = 1 \text{ – další vlivy}$$

**Marinova rovnice:**

$$\sigma'_{hc} = k_{ha} \cdot k_{hb} \cdot k_{hc} \cdot k_{hd} \cdot k_{he} \cdot k_{hf} \cdot \sigma_{hc} = 120,59 \text{ MPa} \quad (39)$$

$$\alpha_h = 2,2$$

$$\sqrt{a} = \frac{139}{Rmh} = 0,17707 \quad (40)$$

$$\beta = \frac{\alpha_h}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_h - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha_h \cdot \sqrt{r_h}}} = 1,8438 \quad (41)$$

$$\sigma_{ho} = 0 \quad (42)$$

$$\sigma_{hoa} = \frac{\sigma_{ho}}{2} = 0 \quad (43)$$

$$\sigma_{hom} = \frac{\sigma_{ho}}{2} = 0 \quad (44)$$

Bylo uvažováno zatěžování míjivým cyklem kde  $a$  – amplituda,  $m$  – střední hodnota.

$$\tau_{ha} = \frac{\tau_{hmax}}{2} = 22,711 \text{ MPa} \quad (45)$$

$$\tau_{hm} = \frac{\tau_{hmax}}{2} = 22,711 \text{ MPa} \quad (46)$$

$$\sigma_{hreda} = \sqrt{\sigma_{hoa}^2 + 4 \cdot \tau_{ha}^2} = 45,423 \text{ MPa} \quad (47)$$

$$\sigma_{hredm} = \sqrt{\sigma_{hom}^2 + 4 \cdot \tau_{hm}^2} = 45,423 \text{ MPa} \quad (48)$$

**Únava podle Soderbergova kritéria:**

$$r_{h1} = \frac{\sigma_{hreda}}{\sigma_{hredm}} = 1 \quad (49)$$

výpočet mezního bodu M:

$$\sigma_{hM} = \frac{\sigma'_{hc} \cdot R_{eh}}{r_{h1} \cdot R_{eh} + \sigma'_{hc}} = 100,13 \text{ MPa} \quad (50)$$

$$\sigma_{hA} = \sigma_{hM} \cdot r_{h1} = 100,13 \text{ MPa} \quad (51)$$

**Bezpečnost vůči meznímu stavu únavy:**

$$k_{h1} = \frac{\sigma_{hM}}{\sigma_{hredm}} = 2,2 \quad (52)$$

$$k_{h2} = \frac{\sigma_{hA}}{\sigma_{hreda}} = 2,2 \quad (53)$$

**Návrh délky pera:**

$D_{h1} = 60 \text{ mm}$  – průměr vstupního hřídele

$b_p = 18 \text{ mm}$  – šířka pera

$h_p = 11 \text{ mm}$  – výška pera

$t_p = 6,8 \text{ mm}$  – hloubka drážky v hřídeli

**Návrh podle otlačení:**

$p_0 = 150 \text{ MPa}$  – základní hodnota tlaku pro ocelový náboj dle [15].

$p_D = 0,6 \cdot p_0 = 90 \text{ MPa}$  – dovolený tlak na bocích drážek – velké rázy, dle [15].

$$F_{tp} = \frac{2 \cdot M_{tk}}{D_{h1}} = 28\,937,26 \text{ N} \quad (54)$$

$$l_{p1} = \frac{F_{tp}}{t_p \cdot p_D} + b_p = 65,28 \text{ mm} \quad (55)$$

$$l_{p2} = \frac{F_{tp}}{(h_p - t_p) \cdot p_D} = 76,55 \text{ mm} \quad (56)$$

**Návrh podle stříhu:**

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_{eh} = 340,43 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$l_{p3} = \frac{F_{tp}}{R_{se} \cdot b_p} = 4,72 \text{ mm} \quad (58)$$

S ohledem na výše uvedené bylo zvoleno pero ČSN 02 2562 – 18e7 x 11 x 80.

**Kontrola tlaku na rovnobokém drážkování:**

$D_{h3} = 60 \text{ mm}$  – velký průměr hřídele sousedící s drážkováním

$D_d = 50 \text{ mm}$  – velký průměr drážkování

$d_d = 46 \text{ mm}$  – malý průměr drážkování

$l_{fd} = 235 \text{ mm}$  – funkční délka drážkování

$n_d = 8$  – počet drážek

$$F_d = \frac{2 \cdot M_{hk}}{d_d} = 37\,744,26 \text{ N} \quad (59)$$

$$P_d = \frac{F_d}{n_d \cdot l_{fd} \cdot \frac{D_d - d_d}{2}} = 10,04 \text{ MPa} \quad (60)$$

S ohledem na výše uvedené výpočty pro pero je tento tlak působící na drážky rovnobokého drážkování zanedbatelný.



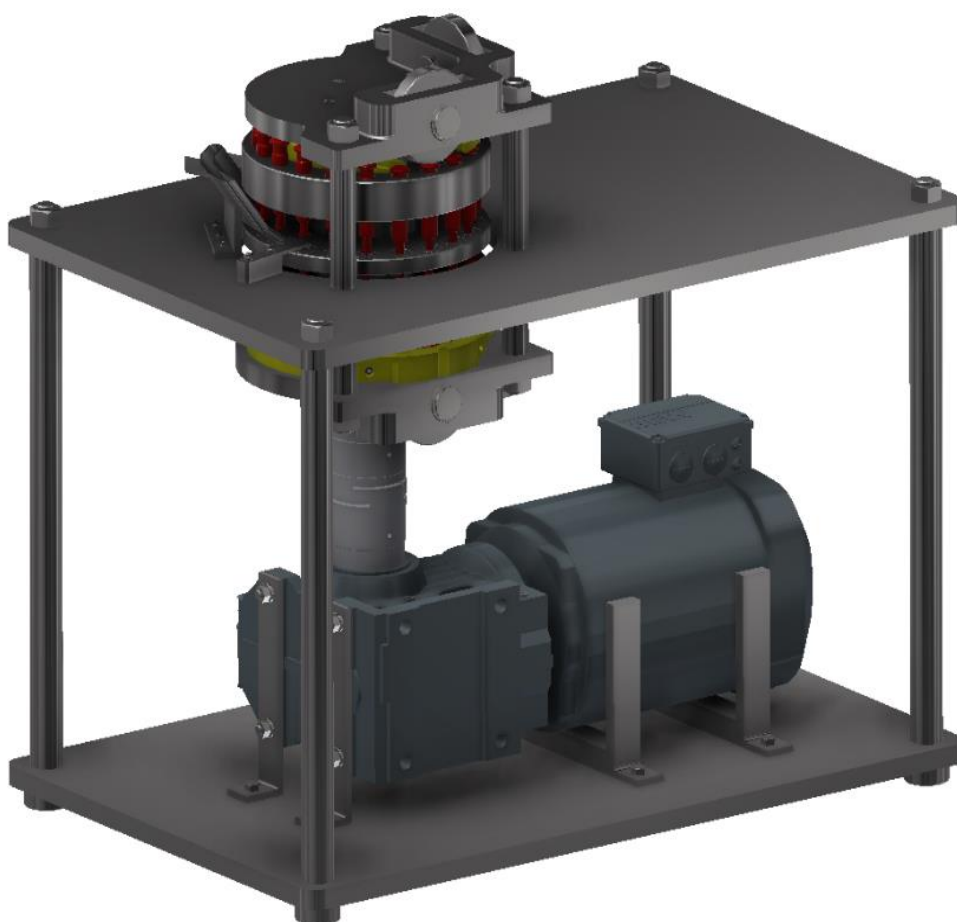
Obrázek 17 Drážkovaná hřídel

## 4 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH

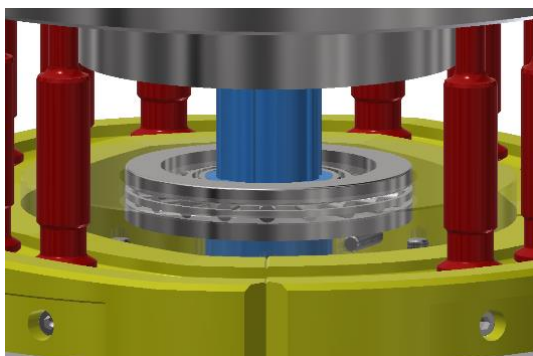
Tato kapitola bude věnována vlastnímu konstrukčnímu návrhu rotačního tabletovacího lisu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, vlastní návrh byl inspirován lisem od výrobce Fette compacting, modelem FE 35. Modelování jednotlivých součástí probíhalo v programu Autodesk Inventor.

### 4.1 Celková sestava

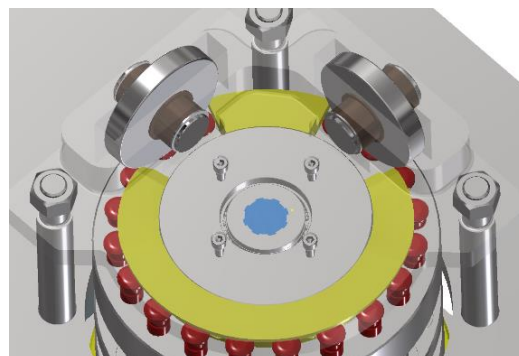
Hlavními prvky celkové sestavy jsou hlavní rotor s razníky, vačková horní a spodní dráha, horní a spodní kryt s uchycenými kompresními válci, nosná konstrukce stolu s uchyceným motorem a drážkovaná hřídel. Hlavní rotor je při procesu výroby stále v pohybu, a proto bylo nutné zachytit axiální sílu pomocí axiálního válečkového ložiska, uloženého mezi spodním středem a spodním rotorem. Dále bylo potřeba zachytit i radiální síly pomocí dvou kuličkových ložisek ve kterých je uložena drážkovaná hřídel. Celá kompletace stroje je realizována nasouváním jednotlivých komponent shora na hřídel, a proto muselo být horní uložení hřídele do ložiska vyřešeno pomocí náboje, který se na hřídel nasune. Všechny součásti jsou vyrobeny z nerezové oceli 1.4301 kromě zmíněných součástí z kapitoly 3.



Obrázek 18 Sestava tabletovacího lisu



a) Detail uložení axiálního ložiska



b) Detail uložení náboje

Obrázek 19 Průřezy lisem

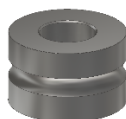
## 4.2 Návrh nástroje

Celý vlastní návrh se odvíjel od zvolené konfigurace použitých nástrojů, tím byla v tomto případě konfigurace nástrojů typu D dle Evropské normy ČSN ISO 18084 (22 7200)[18]. Typ D byl zvolen z důvodu vysokých lisovacích tlaků na hlavní kompresi, a také z důvodu většího průměru tablety.

Materiál nástrojové konfigurace byl zvolen na základě výpočtů provedených v kapitole 3.2, tedy zušlechtěná ocel 16 341.8. Stroj byl navrhnut pro tisk tablet o průměru 18 mm a tloušťce 4 mm. Razníky byly vyhotoveny bez drážek, jelikož tvar námi zvolené tablety neobsahuje žádné prvky, které by vyžadovali přesné zajištění proti otočení razníku a celá tableta je symetrická.



a) Horní razník ISO



b) Matrice ISO



c) Dolní razník ISO

Obrázek 20 Nástrojová konfigurace typu D

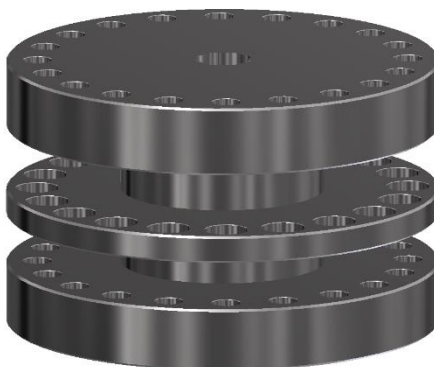
## 4.3 Návrh rotoru

Hlavní částí rotačního lisu je takzvaný rotor, který dodává razníkům rotační pohyb a zároveň jim umožňuje volně se pohybovat ve svislém směru. Celý rotor po celou dobu pracovního cyklu



výroby tablety rotuje kolem centrální osy stroje. Pohyb mu dodává elektromotor zvolený v kapitole 3.4. Rotační pohyb je na rotor přenášen přes drážkovanou hřídel, která je napojená přes pružnou spojku na elektromotor.

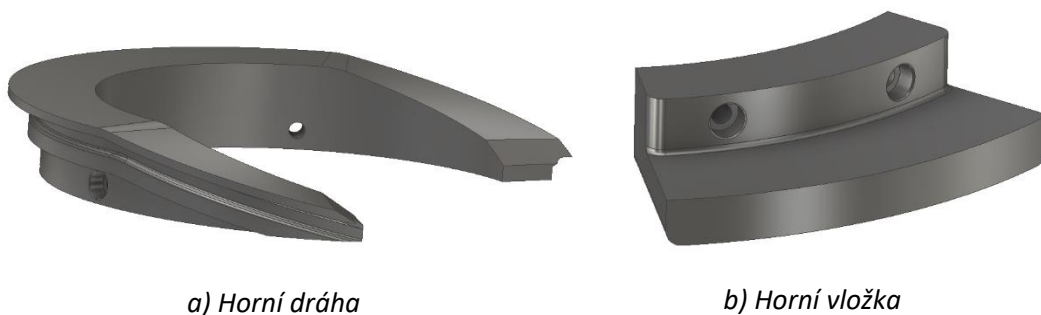
Rotor se skládá ze tří kusů, z horního rotoru, ve kterém jsou zasazeny horní razníky, dále ze spodního rotoru, který se stará o unášení spodních razníků a mezi těmito částmi se nachází zápustkový stul, ve kterém jsou nalisovány matrice pro výrobu tablet. Díry pro uložení razníků se nachází na roztečné kružnici o průměru 325 mm. Tyto tři kusy budou vysoustruženy, vyvrtány a následně svařeny dohromady, čímž pak vytvoří hlavní rotor.



Obrázek 21 Hlavního rotoru

#### 4.4 Návrh vačkových drah

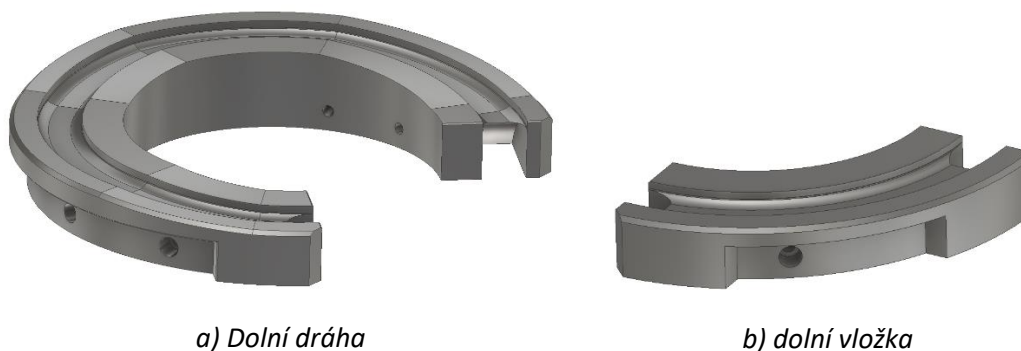
Horní vačková dráha se skládá ze dvou dílů, z horní dráhy a horní vložky. Horní dráha má po obvodu tvarovou drážku tak, aby dokázala vést razník. Tyto komponenty slouží k vysunování a zasunování razníků do a z matrice, vedou razníky do doby, než narazí na kompresní válce. Po proběhnutí kompres opět drážka hlavu razníku zachytí a zvedne ho do požadované polohy.



Obrázek 22 Horní vačková dráha

Obdobně celý tento pohyb probíhá ve spodní části stroje, tedy pod tvarovanou tabletou. Zde se o pohyb stará přesně tvarovaná dolní vačková dráha, která se skládá z dolní dráhy a dolní vložky. Obě tyto komponenty musejí mít přesné rozměry, aby mohl celý proces úspěšně probíhat. Ve spodní části stroje je pohyb poněkud komplikovanější, jelikož musí zajišťovat více operací. Razník musí nejprve sjíždět do polohy plnění pod násypkou, poté je pomocí škrabky odstraněn přebytek materiálu a dráha razník vede do pozice, kdy je připraven absolvovat

předkompresi. Mezi oběma kompresemi razník vede dolní vložka. Po hlavní kompresi dráha razník vysouvá tak, aby byl schopen vysunout hotovou tabletu na povrch, kde ho odvodní přepážka přesune do odvodního koryta.



*Obrázek 23 Dolní vačková dráha*

Obě vačkové dráhy jsou přišroubovány k nehybným středům, a tak mohou zajišťovat tyto vodící operace.

#### **4.5 Nosná konstrukce**

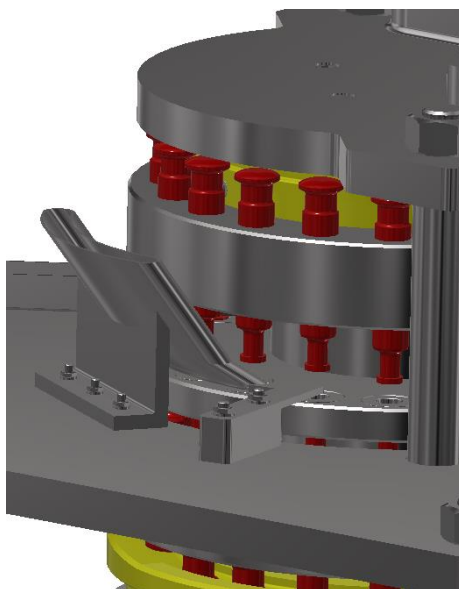
Nosnou konstrukci celého lisu je možno rozdělit na dvě části, na část, která drží kryty s kompresními válci, a tak musí zajišťovat tuhost při kompresních silách a druhou částí by bylo možné nazvat soustavu horního a dolního stolu, která drží celou sestavu pohromadě a nese tak váhu celého stroje. Celá konstrukce je realizována pomocí nosných tyčí se závity, ostatní komponenty jsou pak připevněny pomocí šroubů a matic.



*Obrázek 24 Nosná konstrukce lisu*

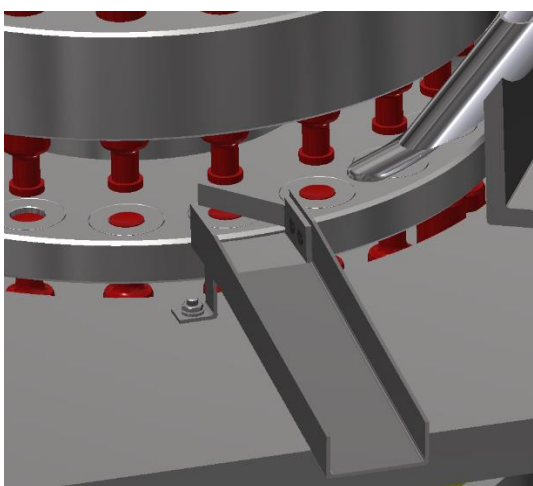
## 4.6 Ostatní komponenty

Plnění matrice práškem je v tomto případě realizováno jednoduchou násypkou, ta je pevně připevněna na horním stole. Jak již bylo řečeno, o odstraňování přebytečného materiálu se stará škrabka umístěná v bezprostřední blízkosti za násypkou a hrne tak přebytečný materiál do následujících matic.



Obrázek 25 Detail násypky a škrabky

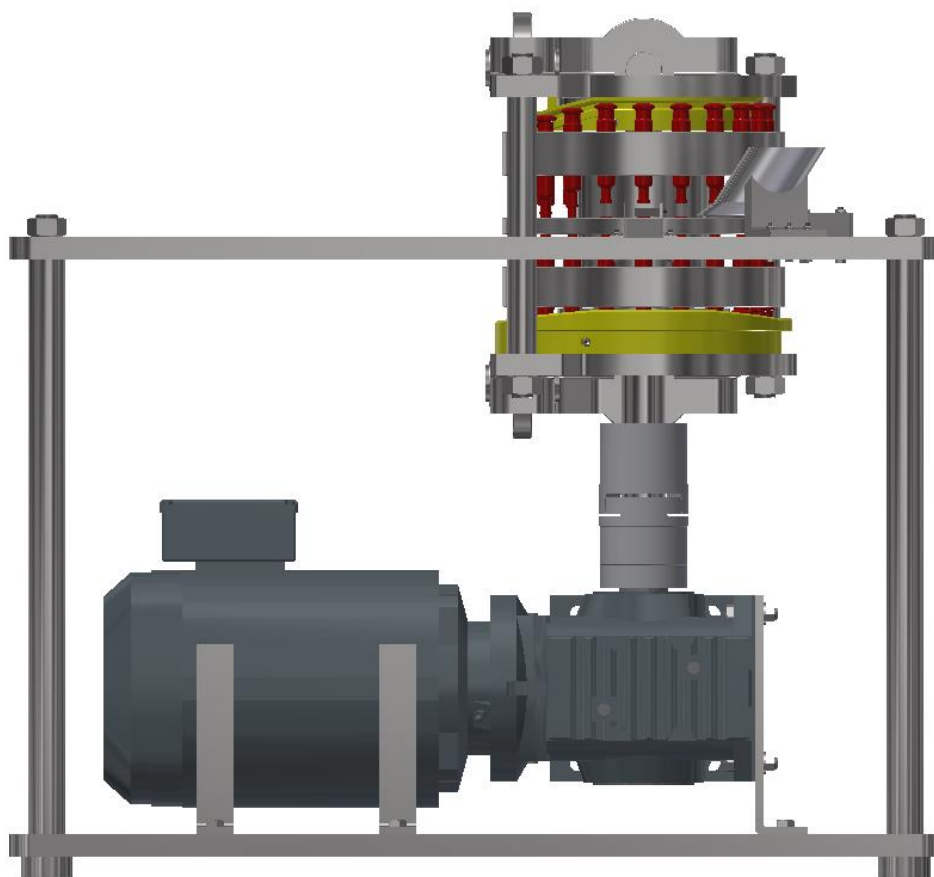
Vypouštění tablety je realizováno pomocí dolního razníku, který hotovou tabletu postupně vysouvá ze zápusťky na povrch, až do pozice, kdy tableta narazí na odvodní přepážku, která pohyb tablety přesměruje a ta se následně dostane do odvodního koryta. Korytem poté tableta sklouzává dále do zásobníku, či k dalšímu zpracování.



Obrázek 26 Detail odvodu tablety

#### 4.7 Analýza a vyhodnocení navrhovaného řešení

Výsledný návrh rotačního tabletovacího lisu byl úspěšně nadimenzován na požadované parametry dle zadání. Téměř ve všech parametrech se shoduje s předlohou v podobě rotačního lisu od firmy Fette compacting, modelu FE 35. Výsledná konstrukce pracuje s předkompresní silou 40kN a kompresní silou 80kN. Rizikové komponenty byly tedy navrhnuty a podloženy výpočty tak, aby těmto silám dokázal lis odolávat. Maximální výrobní kapacita stroje je na základě otáček zvoleného motoru 145 200 tablet za hodinu, což je pouze o 300 tablet za hodinu méně než předloha. Jediným rozdílem oproti předloze je počet lisovacích stanic, ten je v případě navrhnutého řešení 20 stanic. Tento parametr byl však vykompenzován motorem s vyššími výstupními otáčkami, a tak je tento rozdíl téměř zanedbatelný.



*Obrázek 27 Výsledný konstrukční návrh tabletovacího lisu*

## 5 ZÁVĚR

První část této práce byla věnována řešení dané problematiky a rozboru současného stavu poznání. Zde byly zmapovány a rozděleny jednotlivé druhy tabletovacích lisů a jejich nástrojů. Dále byly popsány hlavní funkční komponenty jednotlivých skupin lisů a následně byly vybrány parametry pro zadání vlastního konstrukčního návrhu.

Ve druhé části se práce zabývala návrhovými výpočty a samotnou konstrukcí stroje. Výsledný navrhovaný lis se řadí do skupiny rotačních lisů a byl zadán dle parametrů již existujícího stroje známého výrobce. Všechny rizikově vyhodnocené komponenty byly zkontrolovány a nadimenzovány tak, aby odolávaly vlivům vysoké kompresní síly potřebné k tvorbě tablet. Samotný 3D model celé sestavy byl tvořen v aplikaci Autodesk Inventor Professional, stejně tak vybrané výrobní výkresy a výkres sestavy s přiloženým kusovníkem. Výkresy jsou přiloženy v příloze tohoto dokumentu.

Všechny zadané cíle se v práci podařilo splnit a jako doporučení pro realizaci navrhnutého lisu v praxi by bylo nahrazení jednoduché násypky plnicím mechanickým strojem, který by dokázal matrice naplnit efektivněji. Dále bych doporučil celou sestavu zakrytovat tak, aby byla snížena náchylnost k nežádoucím poškozením od vnějších vlivů a zároveň tak vytvořit i elegantnější vzhled stroje.



## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Farmaceutický průmysl v Česku – malý, ale dynamický obor [online]. 2020 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.statistikaamy.cz/2020/04/30/farmaceuticky-prumysl-v-cesku-maly-ale-dynamicky-obor/>
- [2] Co je farmaceutický tabletovací lis [online]. 2019 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/what-is-a-pharmaceutical-tablet-press-machine-37529155.html>
- [3] GMP [online]. [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: [https://www.qmprofi.cz/33/gmp-uniqueidgOkE4NvrWuOD4bWdlJ9\\_MsAjwzZRohLaWcEWLDBR\\_98/](https://www.qmprofi.cz/33/gmp-uniqueidgOkE4NvrWuOD4bWdlJ9_MsAjwzZRohLaWcEWLDBR_98/)
- [4] Rotační tabletovací lis: The Ultimate Guide [online]. 26.8.2019 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/rotary-tablet-press-the-ultimate-guide-38411812.html>
- [5] Typy a klasifikace tabletového lisu: Který tabletovací stroj byste si měli koupit? [online]. 2019, 15.7.2019 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/types-classification-of-tablet-press-which-37040178.html>
- [6] DÉVAY, Attila. The Theory and Practice of Pharmaceutical Technology. In: Regi.tankonyvtar.hu [online]. Budapešť: University of Pécs Institute of Pharmaceutical Technology and Biopharmacy, 2013, 2013 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0016\\_01\\_the\\_theory\\_and\\_practise\\_of\\_pharmaceutical\\_technology/ch24.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0016_01_the_theory_and_practise_of_pharmaceutical_technology/ch24.html)
- [7] FIŠEROVÁ, Petra. Výroba tablet. Inženýrství chemicko-farmaceutických výrob. Lisování tablet. POMOCNÉ LÁTKY (kluzné látky, rozvolňovadla) LÉČIVÉ LÁTKY. Docplayer [online]. 2018, 2018 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/45242703-Vyroba-tablet-inzenyrstvi-chemicko-farmaceuticky-vyrob-lisovani-tablet-pomocne-latky-kluzne-latky-rozvolnovadla-lecive-latky.html>
- [8] RZ-17 ROTARY TABLET PRESS. Minipress.ru [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: [https://www.minipress.ru/pharma/english/pharmaceutical\\_equipment/tablet-presses-automatic/rotary-tablet-presses/rotary-tablet-press-rz-17/](https://www.minipress.ru/pharma/english/pharmaceutical_equipment/tablet-presses-automatic/rotary-tablet-presses/rotary-tablet-press-rz-17/)
- [9] Tablety a kapsle [online]. 9.2.2017. [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/tablety>
- [10] ONDREJČEK, Pavel, et al. Vliv nové kluzné látky syloidu na lisování tablet léčivých přípravků. Chemické listy, 2014, 108.7: 687-693.
- [11] SVAČINOVÁ, P., et al. Porovnání dvou metod charakterizujících proces lisování tablet. Chemické listy, 2014, 108.6: 624-629.
- [12] Next Generation Tableting Technology - FE35 [online]. In: . Fette Compacting GmbH Grabauer Str. 24 21493 Schwarzenbek Deutschland, © Fette Compacting 2021, s. 10-11

[cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.fette-compacting.com/en/products/tablet-presses/fe-series>

- [13] IMA Prexima 300. Ima.it [online]. VIA EMILIA 428-442, 40064, OZZANO DELL'EMILIA (BO), © COPYRIGHT 2016 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://ima.it/pharma/machine/prexima/>
- [14] Romaco Kilian KTP 420X Tablet Press. Romaco.com [online]. Am Heegwald 11 76227 Karlsruhe Germany: © Romaco Group [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.romaco.com/en/exploiting-technologies/kilian/kilian-ktp-420x/>
- [15] EDWARD, Joseph. SHIGLEY: Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [16] SKF bushings, thrust washers and strips. Skf.com [online]. ©SKF Group, 2010 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: [https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680090e01-SKF-bushings-thrust-washers-and-strips-1-EN\\_tcm\\_12-120169.pdf#cid-120169](https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680090e01-SKF-bushings-thrust-washers-and-strips-1-EN_tcm_12-120169.pdf#cid-120169)
- [17] Mechanické vlastnosti ocelí. Tprom.cz [online]. V Ráji 1204 53002 Pardubice [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli?fbclid=IwAR0oIRsGD--Jg1AAIRhxxXZd4GSIT2YnCRM0eFlnaciiNBh2d-LjGbZrpLs>
- [18] Lisovací nástroje pro lisování - Střížníky a střížnice. 2. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizace, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.



## 7 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, ZKRATEK A SYMBOLŮ

### 7.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 srovnání rotačních lisů s nástroji typu D [12][13][14].....	28
---	----

## 7.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 Tabletovací lis[2].....	17
Obrázek 2 Operační cyklus výstředníkového lisu [6].....	18
Obrázek 3 Lisovací nástroj[7].....	19
Obrázek 4 Rotační lis RZ-17[8].....	19
Obrázek 5 Lisovací fáze[7].....	21
Obrázek 6 Proces Lisování rotačního lisu [2].....	21
Obrázek 7 Schéma výroby tablet[7] .....	23
Obrázek 8 Deformace tabletoviny při lisování[7] .....	24
Obrázek 9 Schéma záznamu síla-dráha[11].....	25
Obrázek 10 Schéma záznamu stanovení stresové relaxace[11].....	26
Obrázek 11 Schéma působení sil .....	29
Obrázek 12 Nosná tyč.....	31
Obrázek 13 Soustava nástrojů tabletovacího lisu .....	32
Obrázek 14 Detail uložení čepu.....	34
Obrázek 15 Kluzné ložisko SKF PRMF 505530.....	34
Obrázek 16 Převodový elektromotor S87DR-N160M4 .....	35
Obrázek 17 Drážkovaná hřídel .....	38
Obrázek 18 Sestava tabletovacího lisu .....	39
Obrázek 19 Průřezy lisem.....	40
Obrázek 20 Nástrojová konfigurace typu D .....	40
Obrázek 21 Hlavního rotoru .....	41
Obrázek 22 Horní vačková dráha .....	41
Obrázek 23 Dolní vačková dráha.....	42
Obrázek 24 Nosná konstrukce lisu .....	42
Obrázek 25 Detail násypky a škrabky .....	43
Obrázek 26 Detail odvodu tablety .....	43
Obrázek 27 Výsledný konstrukční návrh tabletovacího lisu .....	44

### 7.3 Seznam zkratek

3D	Trojdimenzionální
ČSN	Česká státní norma
EU	Evropská norma
GMP	Soubor správných výrobních postupů
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
PLC	Programovatelný logický automat
TSM	Manuál specifikace nástrojů

## 7.4 Seznam symbolů

$\left(\frac{l}{i}\right)_1$	-	Hraniční štíhlostní poměr
$\sqrt{a}$	-	Neuberova konstanta (materiálová konstanta)
$\frac{l}{i}$	-	Štíhlostní poměr razníku
$a_{\check{c}}$	-	koeficient pro výpočet $k_{\check{c}a}$
$a_h$	-	koeficient pro výpočet $k_{ha}$
$b_{\check{c}}$	-	exponent pro výpočet $k_{\check{c}a}$
$b_h$	-	exponent pro výpočet $k_{ha}$
$B_1$	[mm]	Délka ložiska
$b_p$	[mm]	Šířka pera na vstupním hřídeli
$d_3$	[mm]	Vnitřní průměr závitu na tyči
$d_{\check{c}}$	[mm]	Průměr čepu
$D_d$	[mm]	Velký průměr drážkování
$d_d$	[mm]	Malý průměr drážkování
$d_h$	[mm]	Průměr hřídele v místě rovnobokého drážkování
$D_{h1}$	[mm]	Průměr vstupního hřídele
$D_{h3}$	[mm]	Velký průměr hřídele sousedící s drážkováním
$D_{h3}$	[mm]	Velký průměr hřídele sousedící s drážkováním
$d_r$	[mm]	Nejmenší průměr razníku
$d_t$	[mm]	Menší průměr nosné tyče
$D_t$	[mm]	Větší průměr nosné tyče
$E$	[Mpa]	Modul pružnosti v tahu pro ocel
$E_1$	[J]	Energie předkomprese
$E_2$	[J]	Plastická energie
$E_3$	[J]	Elastická energie
$E_{lis}$	[J]	Energie spotřebovaná lisováním materiálem ve fázi komprese
$E_{max}$	[N]	Celková spotřebovaná energie
$F_1$	[N]	Síla předkomprese
$F_2$	[N]	Síla komprese
$F_A$	[N]	Síla od reakce
$F_B$	[N]	Síla od reakce
$F_C$	[N]	Síla od reakce
$F_{\check{c}1}$	[N]	Radiální síla v ložisku na čepu
$F_d$	[N]	Síla působící na boky drážek
$F_r$	[N]	Tlaková síla zatěžující razník
$F_{rkrit}$	[N]	Maximální dovolená tlaková síla na razník

$F_{tmax}$	[N]	Nejvyšší síla působící na nosnou tyč
$F_{tp}$	[N]	Střihová síla působící na pero
$F_z$	[N]	Síly působící v ose z
$h_p$	[mm]	Výška pera na vstupním hřídeli
$i_r$	-	Počet razníků
$k_{\check{c}a}$	-	Součinitel vlivu jakosti povrchu
$k_{\check{c}b}$	-	Součinitel vlivu velikosti tělesa
$k_{\check{c}c}$	-	Součinitel vlivu způsobu zatěžování
$k_{\check{c}c}$	-	Bezpečnost čepu vůči meznímu stavu únavy
$k_{\check{c}d}$	-	Součinitel vlivu teploty
$k_{\check{c}e}$	-	Součinitel spolehlivosti
$k_{\check{c}f}$	-	Součinitel zahrnující další vlivy
$k_{\check{c}k}$	-	Bezpečnost čepu
$k_{h1}$	-	Bezpečnost hřídele vůči únavě
$k_{h2}$	-	Bezpečnost hřídele vůči únavě
$k_{ha}$	-	Součinitel vlivu jakosti povrchu
$k_{hb}$	-	Součinitel vlivu velikosti tělesa
$k_{hc}$	-	Součinitel vlivu způsobu zatěžování
$k_{hd}$	-	Součinitel vlivu teploty
$k_{he}$	-	Součinitel spolehlivosti
$k_{hf}$	-	Součinitel zahrnující další vlivy
$k_{hk}$	-	Bezpečnost hřídele
$k_r$	-	Bezpečnost razníku vůči ztrátě vzpěrné stability
$k_{t30k}$	-	Bezpečnost na tyči v místě závitů M30
$k_{tk}$	-	Bezpečnost na tyči v místě změny průměrů
$l_{fd}$	[mm]	Funkční délka drážkování
$l_{p1}$	[mm]	Minimální délka pera podle otlacení v náboji
$l_{p2}$	[mm]	Minimální délka pera podle otlacení v hřídeli
$l_{p3}$	[mm]	Minimální délka pera podle střihu
$l_r$	[mm]	Délka razníku namáhaná na vzpěr
$M_{\check{c}o}$	[N/m]	Nejvyšší ohybový moment působící na čep
$M_{hk}$	[N/m]	Krouticí moment na hřídeli
$M_x$	[N/m]	Momenty působící kolem osy x
$M_y$	[N/m]	Momenty působící kolem osy y
$n$	[1/min]	Otáčky rotoru
$n_d$	-	Počet drážek
$n_l$	[1/min]	Otáčky ložiska
$n_{lt}$	[1/min]	Otáčky turety pro výpočet ložiska

$n_t$	[1/min]	Požadované otáčky rotoru
$P$	[W]	Výkon použitého motoru
$p_0$	[Mpa]	Základní hodnota tlaku pro ocelový náboj
$p_l$	[N]	Tlaková síla působící v ložisku
$p_D$	[Mpa]	Dovolený tlak na bocích drážek náboje
$P_d$	[Mpa]	Tlak působící na boky drážek
$P_m$	[W]	Potřebný výkon motoru
$R_{c\check{c}}$	[Mpa]	Mez kluzu materiálu čepu
$R_{eh}$	[Mpa]	Mez kluzu materiálu hřídele
$R_{er}$	[Mpa]	Mez kluzu materiálu razníku
$r_h$	[mm]	Poloměr vrubu na změně průřezu hřídele
$r_{hl}$	-	Směrnice ztěžování hřídele
$R_{m\check{c}}$	[Mpa]	Mez pevnosti materiálu čepu
$R_{mh}$	[Mpa]	Mez pevnosti materiálu hřídele
$R_{se}$	[Mpa]	Mez kluzu ve smyku
$r_t$	[mm]	Poloměr zaoblení na tyči v místě změny průměrů
$S_r$	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez razníku v nejslabším místě
$s_r$	[mm]	Dráha razníku
$S_t$	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez nosné tyče v menším průměru
$S_{t30}$	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez tyče v místě závitu
$t_p$	[mm]	Hloubka drážky pro pero na vstupním hřídeli
$v_l$	[m/s]	Obvodová rychlost ložiska
$W_{ot}$	[J]	Práce na jednu otáčku rotoru
$x_{\check{c}}$	[mm]	Vzdálenost od středu ložiska do středu čepu
$\alpha_h$	-	Vrubový koeficient pro změnu průměru hřídele u drážkování
$\alpha_r$	-	Součinitel uložení razníku
$\alpha_t$	-	Vrubový koeficient pro změnu průměrů na nosné tyči
$\beta$	-	Vrubový součinitel
$\sigma'_{\check{c}c}$	[Mpa]	Korigovaná mez únavy pro materiál čepu
$\sigma'_{hc}$	[Mpa]	Korigovaná mez únavy pro materiál hřídele
$\sigma_{\check{c}a}$	[Mpa]	Amplituda napětí na čepu
$\sigma_{\check{c}c}$	[Mpa]	Nekorigovaná mez únavy pro materiál čepu
$\sigma_{\check{c}o}$	[Mpa]	Nejvyšší napětí v ohybu působící na čep
$\sigma_{\check{c}red}$	[Mpa]	Redukované napětí v čepu
$\sigma_{hA}$	[Mpa]	Mezní hodnota amplitudy napětí na hřídeli
$\sigma_{hc}$	[Mpa]	Nekorigovaná mez únavy pro materiál hřídele
$\sigma_{hM}$	[Mpa]	Mezní hodnota středního napětí na hřídeli
$\sigma_{ho}$	[Mpa]	Ohybové napětí na hřídeli

$\sigma_{hoa}$	[Mpa]	Amplituda ohybového napětí na hřídeli
$\sigma_{hom}$	[Mpa]	Střední hodnota ohybového napětí na hřídeli
$\sigma_{hreda}$	[Mpa]	Amplituda redukovaného napětí na hřídeli
$\sigma_{hredm}$	[Mpa]	Střední hodnota redukovaného napětí na hřídeli
$\sigma_{t30max}$	[Mpa]	Napětí na tyči v místě závitů
$\sigma_{tex}$	[Mpa]	Extrémní napětí na tyči v místě změny průměrů
$\sigma_{tk}$	[Mpa]	Mez kluzu materiálu nosné tyče
$\sigma_{tnom}$	[Mpa]	Nominální tlak působící na nosnou tyč v místě menšího průměru
$\tau_{ha}$	[Mpa]	Amplituda napětí od krutu na hřídeli
$\tau_{hk}$	[Mpa]	Mez kluzu materiálu hřídele pro zatěžování krutem
$\tau_{hm}$	[Mpa]	Střední hodnota napětí od krutu na hřídeli
$\tau_{hmax}$	[Mpa]	Napětí na hřídeli od krutu
$\tau_{sč}$	[Mpa]	Smykové napětí působící na čep





## 8 SEZNAM PŘÍLOH

Druh dokumentu	Název dokumentu	Číslo dokumentu
Výkres sestavy	Tabletovací lis	BP-NEC-01/00
Seznam položek	Kusovník	BP-NEC-01/01
Výrobní výkres	Horní nosná tyč	BP-NEC-01/02
Výrobní výkres	Horní razník	BP-NEC-01/03